



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
COORDENAÇÃO DE PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO  
CIENTÍFICA – PIBIC

**DESENVOLVIMENTO DE CATALISADORES MICRO/MESOPOROSOS  
VISANDO A UTILIZAÇÃO EM PROCESSO DE CONVERSÃO DE MOLÉCULAS  
MODELO**

**Desenvolvimento De Catalisadores Micro/Mesoporosos Visando A Utilização  
Em Processo De Conversão De Moléculas Modelo**

Área do conhecimento: Engenharias  
Subárea do conhecimento: Engenharia Química  
Especialidade do conhecimento: Reatores Químicos

Relatório Final  
Período da bolsa: de Agosto 2018 a Julho 2019

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica  
PIBIC/CNPq

Orientador: Marcelo José Barros de Souza  
Autor: Heise Alana Neiva Oliveira

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>8</b>
3.1. SÍNTESE DO MCM-41 .....	8
3.2. SÍNTESE DA ZEÓLITA HZSM-12 .....	10
3.3. SÍNTESE DA ZEÓLITA HZSM-35 .....	11
3.4. SÍNTESE DO MATERIAL MICRO-MESOPOROSO .....	13
3.5. CARACTERIZAÇÃO DOS CATALISADORES.....	13
3.5.1. DIFRAÇÃO DE RAIOS – X (DRX) .....	13
3.5.2. ADSORÇÃO/DESSORÇÃO DE NITROGÊNIO.....	13
3.6 TESTES CATALÍTICOS .....	14
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>14</b>
4.1 DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X (DRX) .....	15
4.2 ADSORÇÃO/DESSORÇÃO DE NITROGÊNIO .....	19
4.3 TESTES CATALÍTICOS .....	21
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>24</b>
<b>6. PERSPECTIVAS.....</b>	<b>24</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>25</b>
<b>8. OUTRAS ATIVIDADES .....</b>	<b>28</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O petróleo é uma fonte de energia não renovável, mas amplamente utilizado devido, principalmente, a grande demanda do setor automobilístico, com elevado consumo de gasolina, por exemplo. Devido a isso, tecnologias existentes na etapa de refino estão sendo continuamente aprimoradas visando a conversão do petróleo em combustíveis, já que, em sua forma pura, é constituído por uma complexa mistura de hidrocarbonetos mais algumas impurezas (LANSARIN, 1997).

Como exemplo dessas tecnologias tem-se o Craqueamento Catalítico Fluido (FCC) que possui o objetivo de converter uma fração do petróleo em hidrocarbonetos mais leves. Processos de pirólise catalítica de moléculas modelo também vem sendo estudado com objetivos similares. Porém, para a eficácia nesse processo, há a necessidade de utilização de um catalisador eficaz que possua características como uma alta seletividade, acidez considerável e uma boa estabilidade térmica. Catalisador este composto por uma zeólita ácida em base de sílica e alumina, além de outros componentes específicos (NAZAROVA et al., 2017)

Como o sistema de poros da zeólita é limitado, estudos têm sido feitos para melhorar esse material, como é o caso das estruturas micro-mesoporosas, cujo objetivo é aperfeiçoar a difusão do catalisador (WANG et al., 2011).

Neste trabalho foi utilizado como estrutura micro porosas as zeólitas ZSM-35 e ZSM-12 e mesoporosas o compósito MCM-41. A partir do procedimento de troca iônica, o catalisador microporoso pode ser obtido em sua forma ácida (HZSM-35 e HZSM-12). Além disso, o material mesoporoso da família M41S (MCM-41) foi sintetizado. Por fim, para obtenção dos materiais micro-mesoporosos (HZSM-35/MCM-41 e HZSM-12/MCM-41) foi feito uma mecanossíntese resultando em HZSM-35/MCM-41 e HZSM-12/MCM-41. Posteriormente esses materiais foram caracterizados via difração de raios-X e adsorção/dessorção de nitrogênio e testados através de ensaios de pirólise térmica e catalítica de uma molécula modelo.

## **2. OBJETIVOS**

- Realização de pesquisa bibliográfica sobre o tema;
- Sintetizar catalisadores micro/mesoporosos;
- Estudar as propriedades estruturais/texturais e morfológicas dos catalisadores através de caracterização por diferentes técnicas;
- Realizar a avaliação catalítica dos catalisadores via reações de conversão de moléculas modelo;
- Elaborar os relatórios parcial e final;
- Participação e apresentação dos resultados no congresso de IC da UFS;
- Publicação dos resultados em anais de congresso.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. SÍNTESE DO MCM-41**

Neste trabalho foi utilizado o MCM-41 como material mesoporoso, sintetizado através do método hidrotérmico baseados em trabalhos já descritos na literatura (BECK et al., 1992; LI et al., 2013; SANTOS et al., 2015). A síntese desse catalisador iniciou-se da sílica gel e do silicato de sódio como fontes de silício e sódio, respectivamente, e o brometo de cetiltrimetilamônio como direcionador estrutural e água destilada.

A síntese ocorreu com o preparo de duas soluções:

1. Preparo de uma solução composta pela fonte de silício e sódio (sílica gel e silicato de sódio) e metade da água destilada requerida;
2. Preparo de uma solução contendo o direcionador (CTMABr) e a outra metade da água destilada requerida para a síntese.

A primeira solução foi mantida sob agitação constante a 60°C por duas horas. Já a segunda, foi mantida em agitação por 30 minutos em temperatura ambiente. Ao fim das duas horas, a solução 1 foi adicionada à solução 2 ainda sob agitação por mais 30 minutos a temperatura ambiente.

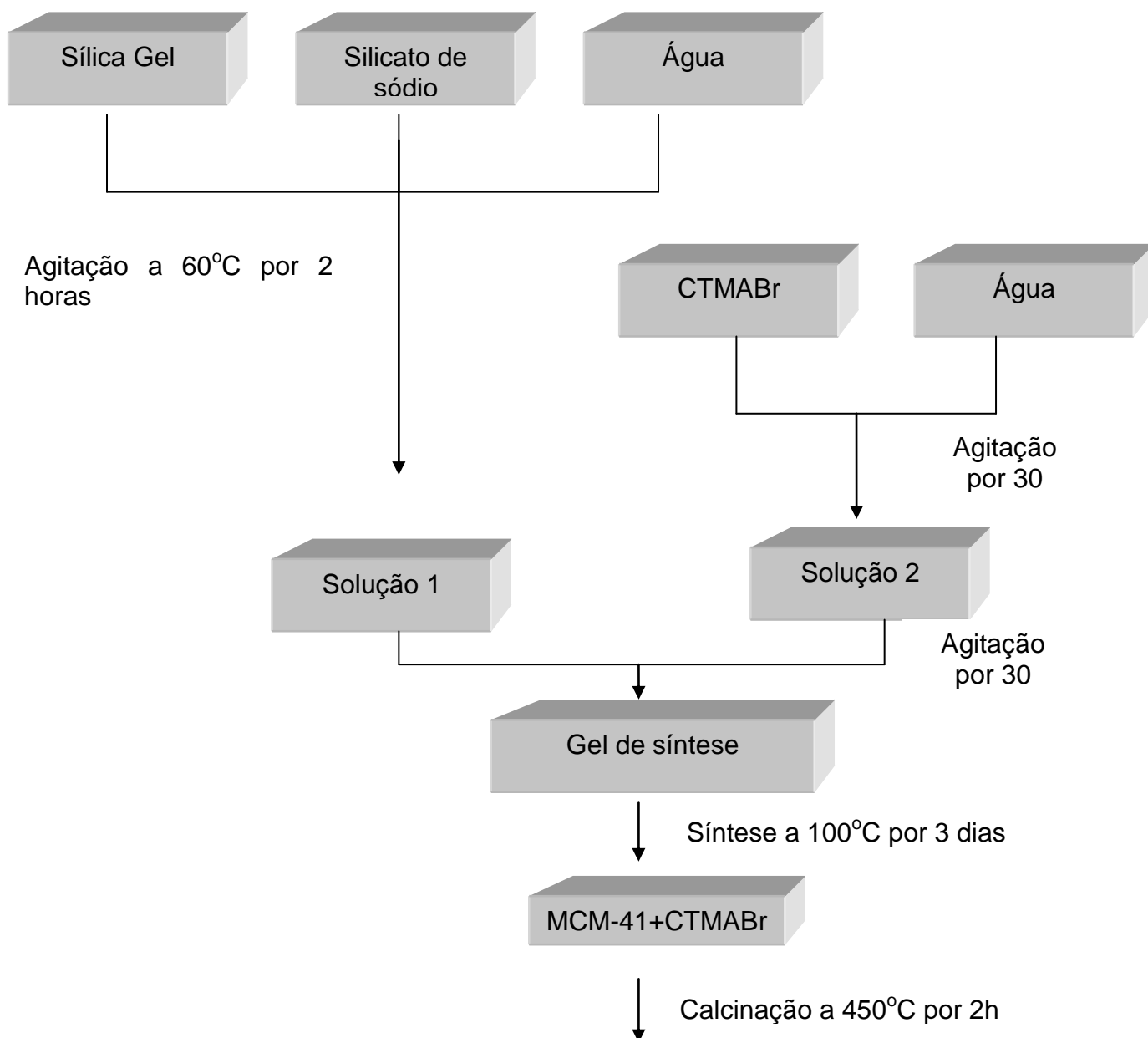
Colocou-se o gel obtido (gel de síntese) em um recipiente de teflon (Figura 5) e posteriormente em uma autoclave (Figura 6), sendo então selada e colocada em uma estufa a 100°C por 3 dias com correção diária do pH (entre 9 e 10) com solução aquosa de ácido acético a 30%. Ao final das 72 horas, o material resultante foi filtrado à vácuo, lavado com água destilada, seco em uma estufa a 100°C por duas horas e, por fim, calcinado em uma mufla a 450°C por duas horas para a remoção do direcionador estrutural. A Figura 7 mostra as principais etapas de síntese do material MCM-41.

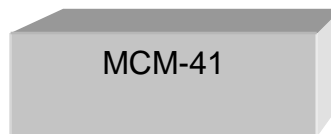


**Figura 1:** Recipiente de Teflon



**Figura 2:** Autoclave





**Figura 3:** Principais etapas da síntese do material mesoporoso MCM-41

### 3.2. SÍNTESE DA ZEÓLITA HZSM-12

A Zeólita (ZSM-12) utilizada no experimento foi obtida do trabalho de Santos et.al (2015). Após a obtenção foi realizada a calcinação do material zeolítico, e posteriormente o processo de troca iônica, onde os cátions sódio ( $\text{Na}^+$ ) compensando as cargas da estrutura são substituídos pelos íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ).

A troca iônica foi realizada em duas etapas, onde na primeira etapa cerca de 2g da amostra de NaZSM-12 foi transferida para um erlenmeyer, juntamente com 250 mL de solução de 1,0 mol/L de cloreto de amônio. Em seguida o erlenmeyer foi levado ao aquecimento à temperatura de 50-60°C por duas horas.

A segunda etapa foi iniciada com a filtração à vácuo do sólido obtido da primeira etapa, para remover assim os íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) não trocados e os íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ). A cada lavagem realizou-se a identificação dos íons cloretos na solução com solução de 0,2 M de nitrato de prata. O procedimento de lavagem foi realizado por duas vezes onde se percebeu mínima identificação de íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ).

Após os íons serem trocados o material foi seco em estufa a 100°C por duas horas, em seguida levado a mufla em aquecimento da temperatura ambiente até 400°C e, após atingir temperatura máxima, manteve-se o sistema nessa temperatura por duas horas. Sendo que nesse processo de calcinação ocorreu a decomposição dos íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) que estavam compensando as cargas dentro da peneira molecular liberando ( $\text{NH}_3$ ) e um  $\text{H}^+$ , obtendo por fim o material zeolítico HZSM-12.

### 3.3. SÍNTESE DA ZEÓLITA HZSM-35

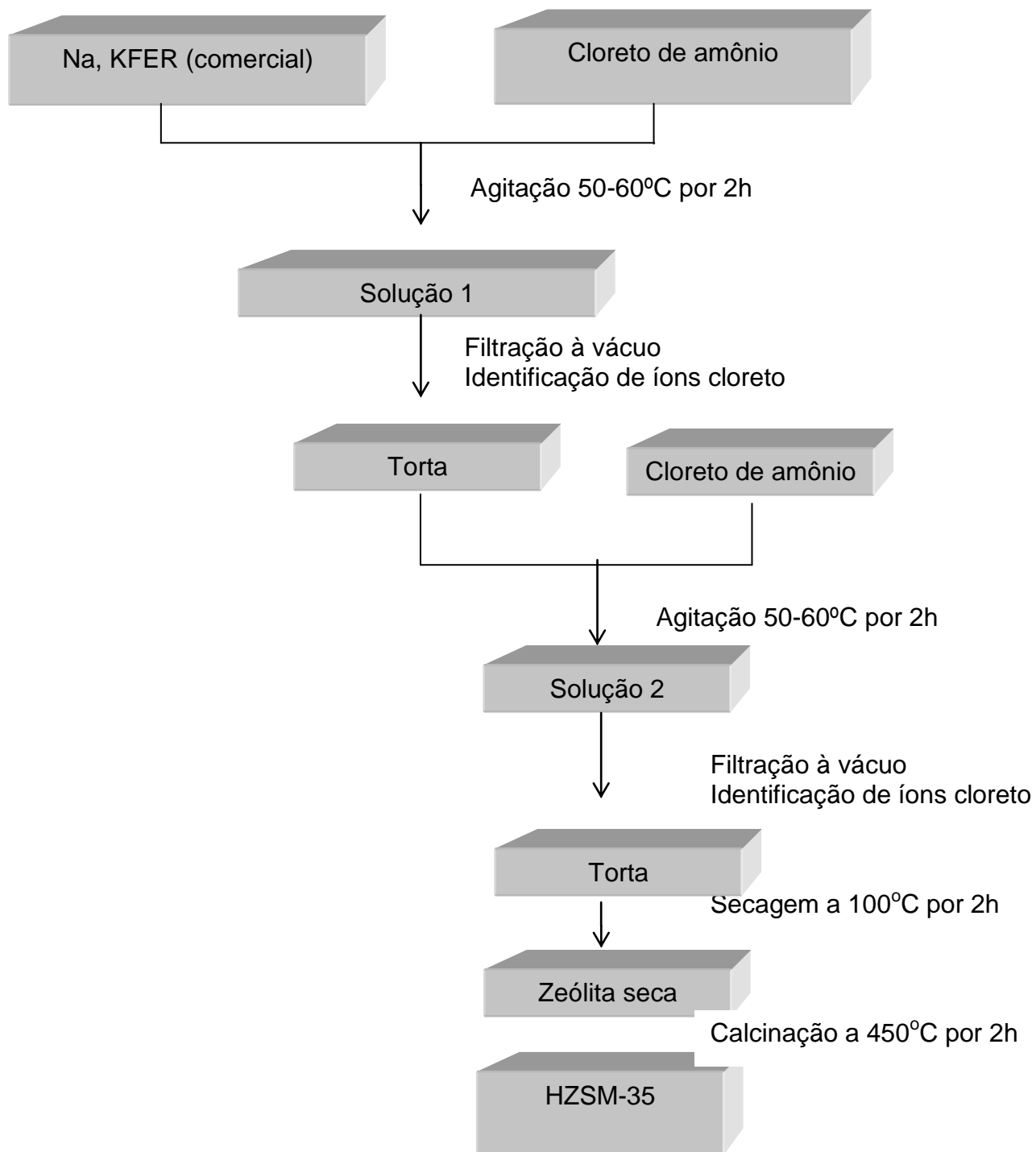
A Zeólita ZSM-35 utilizada no trabalho foi obtida comercialmente da “Zeolyst international”. Após a obtenção foi realizado o processo de troca iônica, onde os cátions sódio ( $\text{Na}^+$ ) compensando as cargas da estrutura foram substituídos pelos íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ).

A troca iônica foi realizada em duas etapas (que se repetiram duas vezes):

1. 2g da amostra de ZSM-35 foi transferida para um erlenmeyer, juntamente com 250 mL de solução de 1,0 mol/L de cloreto de amônio. Em seguida, o erlenmeyer foi levado ao aquecimento à temperatura de 50-60°C por duas horas em um sistema de refluxo.
2. Filtração à vácuo e lavagem do sólido obtido da primeira etapa, para remover assim os íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) não trocados e os íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ). A cada lavagem realizou-se a identificação dos íons cloreto na solução com solução de 0,2M de nitrato de prata. O procedimento de lavagem foi realizado por duas vezes onde se percebeu mínima identificação de íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ).

Após os íons serem trocados o material foi seco em estufa a 100°C por duas horas. Posteriormente, foi levado à mufla a 400°C por duas horas. Nesse processo de calcinação, os íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) foram decompostos, compensando assim as cargas dentro da peneira molecular, liberando ( $\text{NH}_3$ ) obtendo então o material zeolítico ácido HZSM-35. A Figura 8 mostra as principais etapas de síntese da zeólita ácida HZSM-35.





**Figura 4:** Principais etapas para obtenção do material HZSM-35

### **3.4. SÍNTESE DO MATERIAL MICRO-MESOPOROSO**

Para obtenção do material compósito micro-mesoporoso via mecanossíntese, proporções em massa pré-estabelecidas foram misturados através da moagem num almofariz durante 20 minutos até homogeneização. A moagem foi realizada em cinco etapas: uma quantidade equivalente a  $\frac{1}{4}$  da massa do material microporoso e  $\frac{1}{4}$  do material mesoporoso (previamente pesados na proporção estabelecida) foram espalhados no almofariz e submetidos à moagem manual contínua durante 4 minutos. Este procedimento foi repetido por mais três vezes. Na última etapa, a massa dos materiais micro-mesoporoso obtidos foram misturadas no almofariz. O material obtido via mecanossíntese foi sintetizado obedecendo a seguinte proporção em massa pré-estabelecida de material micro e mesoporoso: 50%/50%, respectivamente.

### **3.5. CARACTERIZAÇÃO DOS CATALISADORES**

#### **3.5.1. DIFRAÇÃO DE RAIOS – X (DRX)**

O difratograma de raios-X dos materiais foram obtidos por difração de raios-X pelo método do pó em um difratômetro Shimadzu XRD6000 com fonte de radiação Cu, voltagem de 40 kV, corrente de 30 mA, velocidade de varredura  $0,5^\circ\text{min}^{-1}$ . Esta técnica se baseia na interação entre os raios-X e a matéria. Os resultados dessa técnica são obtidos através de difratogramas onde a posição dos picos depende da geometria da rede cristalina (Schmal, 2011).

#### **3.5.2. ADSORÇÃO/DESSORÇÃO DE NITROGÊNIO**

As propriedades catalíticas de um catalisador dependem das suas características superficiais como volume de poros e área superficial. Para a determinação dessas propriedades são recomendados os métodos de adsorção física onde esses métodos são caracterizados por um baixo grau de interação

entre as moléculas adsorvidas e a superfície do sólido, além disso, são processos reversíveis (Schmal, 2011).

Isotermas de adsorção são obtidas como resultado e são representadas pela quantidade de gás adsorvido no equilíbrio em função da pressão parcial  $P/P_0$ . As isotermas de adsorção dos compósitos HZSM-35/MCM-41 e HZSM-12/MCM-41 foram obtidas através da adsorção de nitrogênio a 77K em um equipamento Micromeritics, modelo ASAP 2020, a -196 °C e anteriormente desgaseificadas por 24 horas, sob vácuo (2  $\mu$ m de mercúrio) a 350 °C, com o objetivo de remover umidade na superfície da amostra. A área foi obtida pelo método BET, sendo esse o modelo proposto por Brunauer, Emmet e Teller. Já o volume de poros do material foi obtido através do método BJH (Barret-Joyner-Halenda).

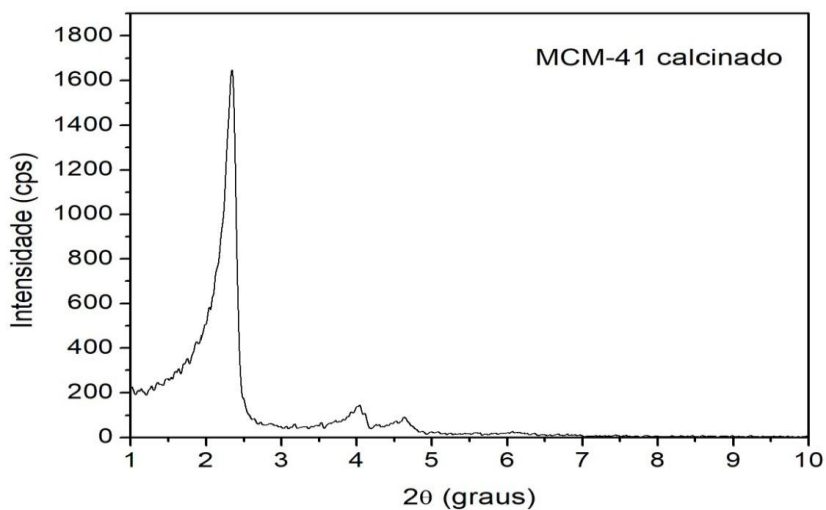
### **3.6 TESTES CATALÍTICOS**

Os testes catalíticos foram conduzidos utilizando o policloreto de vinila (PVC) como molécula modelo e um microreator de uma termobalança. Os ensaios de pirólise térmica e catalítica do PVC foram realizados em um equipamento de análise térmica TG/DTG modelo DTG-60h da Shimadzu em atmosfera inerte e dinâmica de nitrogênio de 50 mL/min. As curvas termogravimétricas foram obtidas aquecendo-se o PVC e o PVC+catalisador na faixa de temperatura de 30°C a 900°C, usando uma massa de aproximadamente 4,0 mg, sob taxa de aquecimento de 20 °C min<sup>-1</sup>. As amostras foram preparadas a partir da mistura mecânica de PVC e catalisador com uma razão nos catalisadores de 50 % de material microporoso e 50% de material mesoporoso.

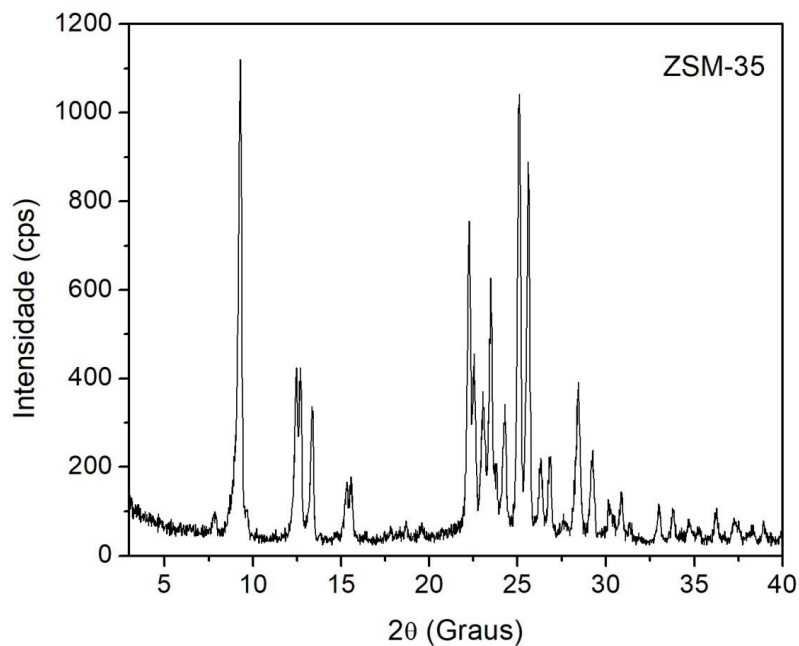
## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### 4.1 DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X (DRX)

O difratograma de raios- X para o material mesoporoso está disposto na Figura 9 e do material microporoso HZSM-35 na Figura 10.



**Figura 5:** Difratograma de raios-X do MCM-41.

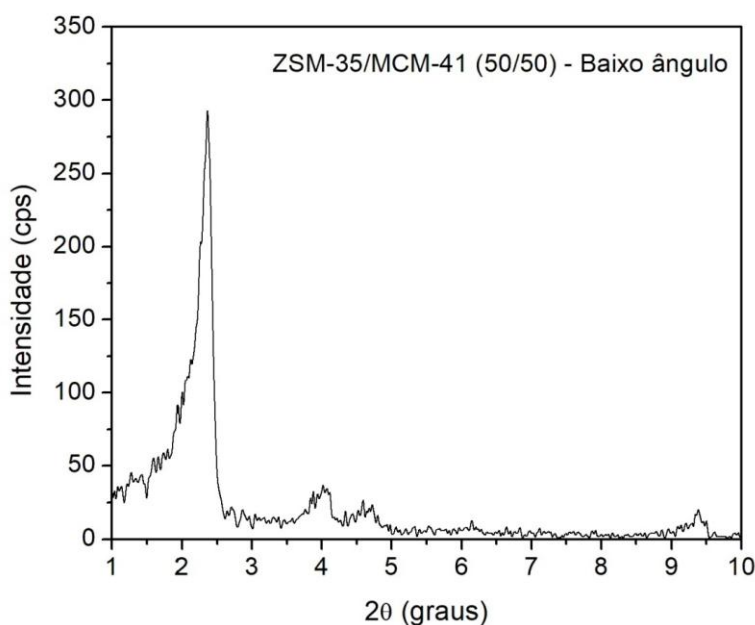


**Figura 6:** Difratograma de raios-X da HZSM-35.

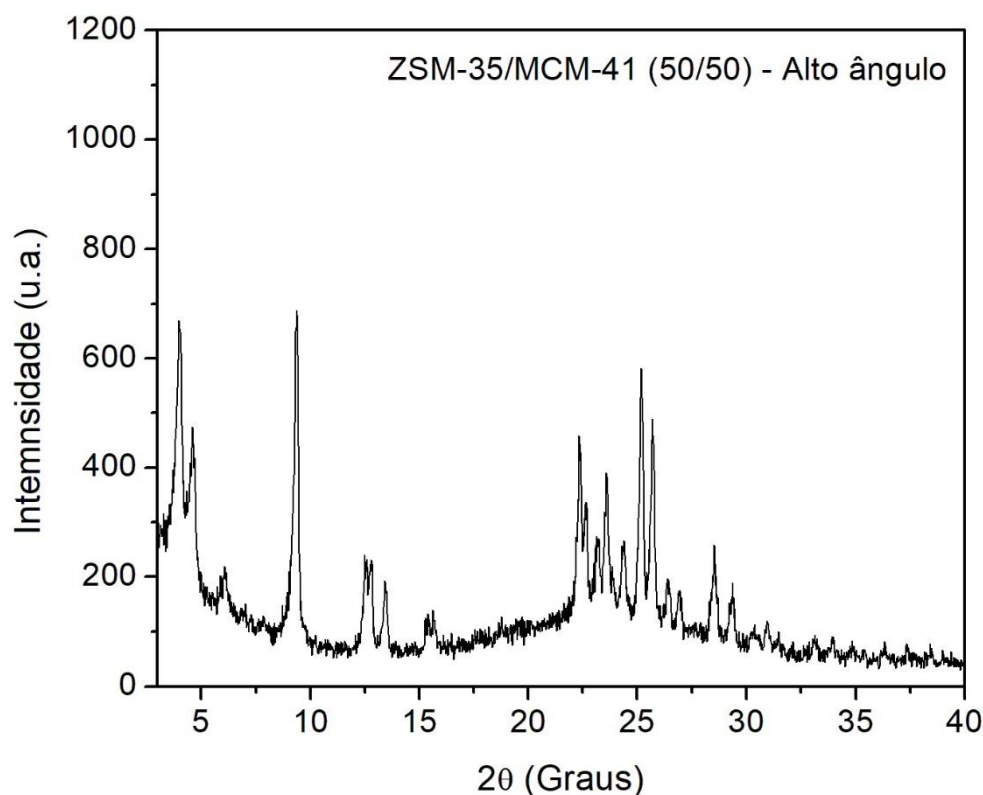
O difratograma de raios-X do material mesoporoso MCM-41 da figura 9 mostra a formação de uma estrutura hexagonal que é característica dessa peneira a partir da presença de três picos característicos. O primeiro de elevada intensidade atribuído ao plano de reflexão (100) em  $2\theta = 2,3^\circ$  e os outros picos com menor intensidade relativos aos planos de reflexão (110) e (200) em  $2\theta = 3,9$  e  $4,6^\circ$  respectivamente e estão condizentes com a literatura (BECK et al., 1992; FONTES, et al., 2016; SOHRABNEZHAD et al., 2017).

Já o difratograma de raios-X da figura 10, apresenta os picos característicos da fase microporosa Ferrerita (ZSM-35), sendo, portanto de:  $2\theta = 9,46^\circ, 12,6^\circ, 13,49^\circ, 17,9^\circ, 22,4^\circ, 24,5^\circ, 25,76^\circ, 26,53^\circ$  e  $28,40^\circ$  e em comparação com o padrão proposto pela International Zeolite Association - IZA e por YU et al (2010) e (SOUZA, 2007).

O DRX do compósito micro-mesoporoso HZSM-35/MCM-41 está disposto nas Figuras 11 e 12 em baixo e alto ângulo, respectivamente.



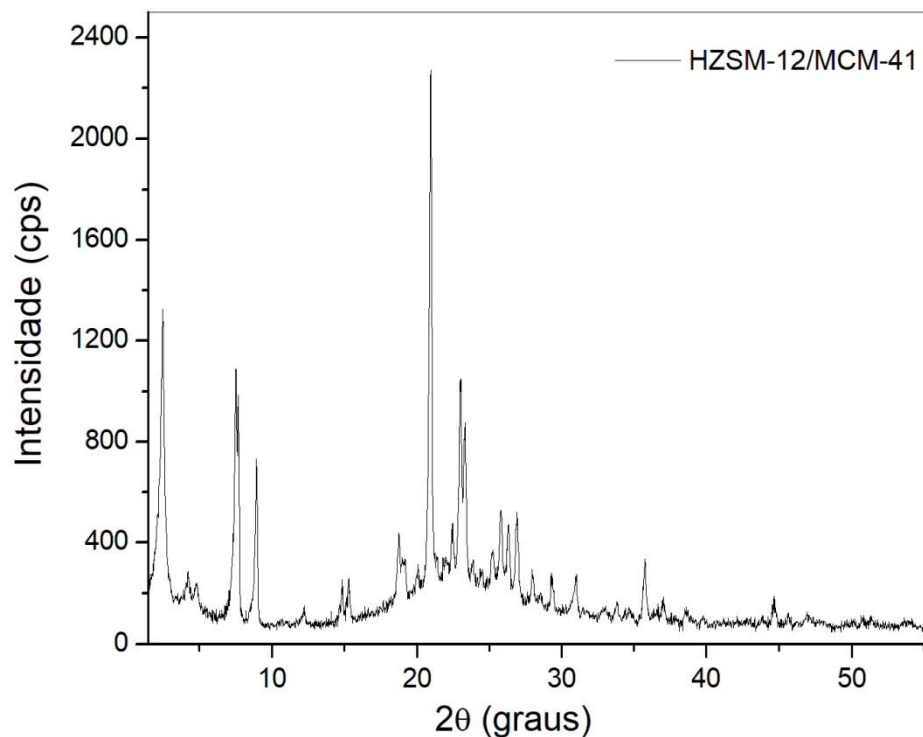
**Figura 7:** Difratograma de raios-X do compósito micro-mesoporoso HZSM-35/MCM-41 ( $2\theta$  variando de 1 a  $10^\circ$ ).



**Figura 8:** Difratoograma de raios-X do compósito micro-mesoporoso HZSM-35/MCM-41 ( $2\theta$  variando de 10 a  $40^\circ$ ).

Observando as Figuras 11 e 12, pode-se perceber a presença dos picos característicos dos dois componentes, tanto a MCM-41 quanto a HZSM-35, evidenciando, portanto, a presença do componente micro e mesoporoso no compósito.

A Figura 13 mostra o difratograma de raios X do compósito micro mesoporoso HZSM-12/MCM-41.

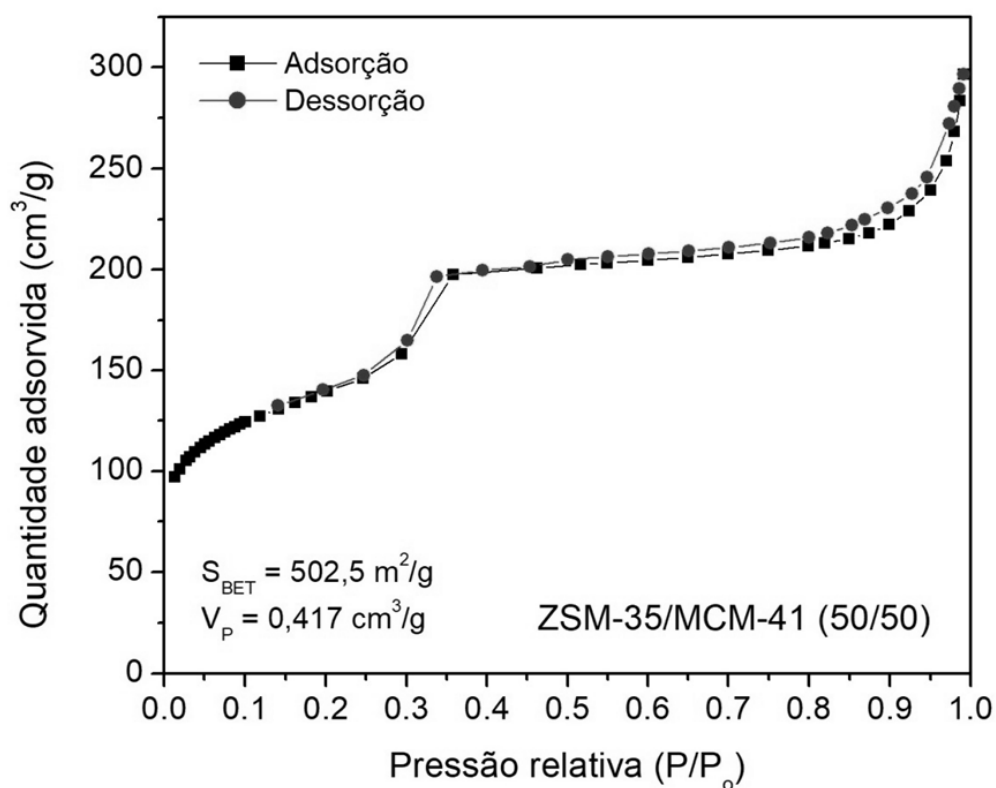


**Figura 9:** Difratoograma de Raio-X do material micro mesoporoso HZSM-12/MCM-41 ( $2\theta$  variando de 3 a  $55^\circ$ )

A figura 13 mostra a formação do compósito micro mesoporoso HZSM-12/MCM-41 através do difratograma de raios X. Isso devido à presença dos picos característicos tanto da zeólita ZSM-12 quanto do MCM-41. Sendo a zeólita caracterizada pelos picos em:  $2\theta = 7,26, 8,87, 20,67, 22,95$  e  $23,36^\circ$ , estando condizente com a literatura, assim como o do MCM-41 com seus três picos característicos nos planos de reflexão (100), (110) e (200)  $2\theta = 2,3, 3,9$  e  $4,6^\circ$ , respectivamente, onde, no plano (100), está localizado o maior pico (BECK et al., 1992; FONTES et al., 2016; SILVA et al., 2017; SOHRABNEZHAD et al., 2017).

## 4.2 ADSORÇÃO/DESORÇÃO DE NITROGÊNIO

Nas Figuras 14 e 15 estão ilustradas a isothermas de adsorção/dessorção do nitrogênio a 77 K dos materiais micro-mesoporosos HZSM-35/MCM-41 e HZSM-12/MCM-41, respectivamente, que, segundo a classificação da IUPAC, se aproximam da isoterma do tipo IV, característico de catalisadores mesoporosos. Os pequenos desvios podem ser atribuídos à influência do catalisador microporoso presente na estrutura.

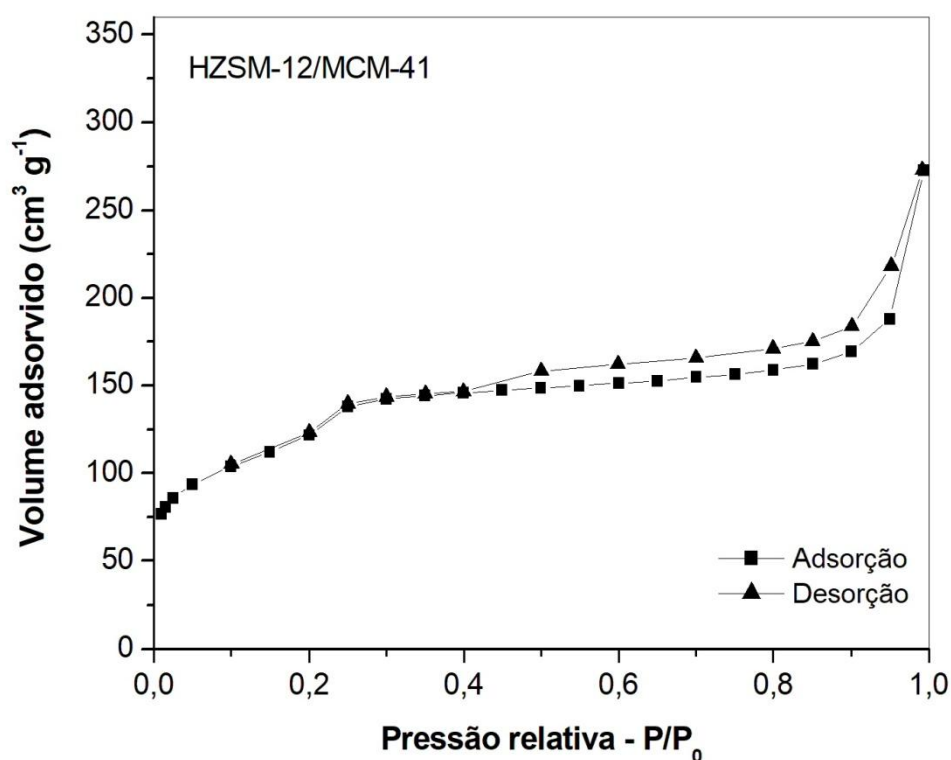


**Figura 10:** Isotherma de adsorção/dessorção de  $\text{N}_2$  a 77K para o composto HZSM-35/MCM-41.

Através do método BET, proposto por Brunauer, Emmet e Teller, foi possível calcular a área superficial do composto HZSM-35/MCM-41, encontrando



assim o valor de 502,5 m<sup>2</sup>/g. Estando, portanto, dentro do valor esperado para materiais dessa natureza (GONG, 2016; MAKOWSKI; MADJA, 2005; LACERDA et al., 2013). Já o volume de poros foi calculado pelo método BJH, desenvolvido por Barrett, Jayner e Helenda, encontrando assim um valor de 0,417 cm<sup>3</sup>/g. Este último método possui como objetivo calcular o volume de poros relativo ao mesoporo. Dessa forma, é possível afirmar que o resultado encontrado condiz com o valor esperado.



**Figura 11:** Isoterma de adsorção/desorção de N<sub>2</sub> a 77K para o composto HZSM-12/MCM-41.

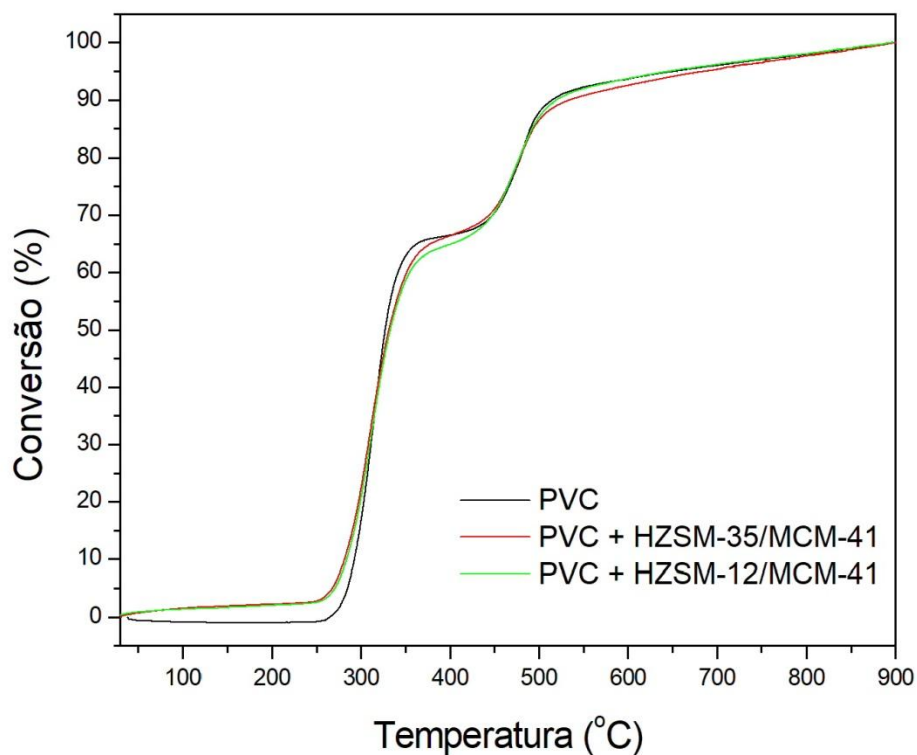
Segundo Santana et al. (2015) e Santos et al. (2015) a existência de adsorção de nitrogênio em baixas pressões relativas (menor que 0,25) indica a presença de microporos na estrutura, o que pode ser observado nas figuras 14 e 15. Além disso, na figura 14, uma inflexão pode ser observada em P/P<sub>0</sub> entre 0,3 e

0,4, e na figura 15 entre 0,2 e 0,3, característica esta que pode ser atribuída a presença de mesoporos ordenados, possibilitando constatar a formação do material micro-mesoporoso.

De acordo com o método BET, o resultado para o valor calculado para a superficial do compósito HZSM-12/MCM-35 foi de  $A_{\text{BET}} = 477 \text{ m}^2/\text{g}$ , condizendo, portanto, com o valor esperado para materiais dessa natureza (GONG, 2016; MAKOWSKI; MADJA, 2005; LACERDA et al., 2013). Em relação ao volume dos poros, foi utilizado o método BJH, encontrando portanto o valor de  $V_p = 0,5 \text{ cm}^3/\text{g}$ . Sendo assim, conclui-se que o resultado obtido condiz com o valor esperado.

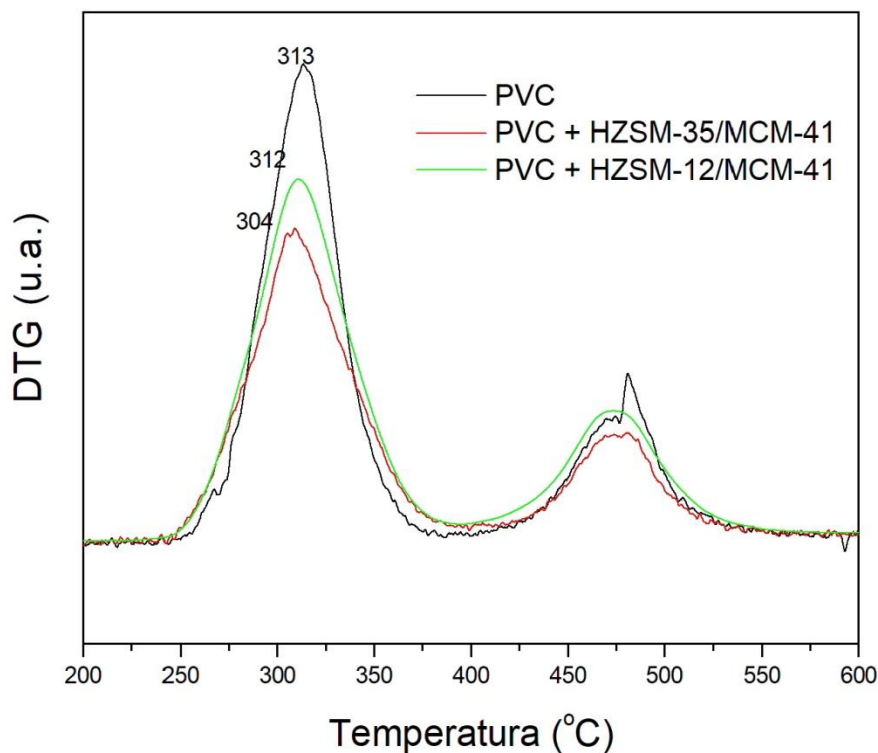
### **4.3 TESTES CATALÍTICOS**

As figuras 16 e 17 mostram os resultados dos testes catalíticos em ensaios de pirólise térmica do PVC (Policloreto de Vinila), comparando a utilização de dois catalisadores distintos (HZSM-12/MCM-41 e HZSM-35/MCM-41) na conversão da molécula modelo.



**Figura 13:** Conversão térmica e catalítica do PVC usando os diferentes catalisadores.

Analisando a figura 16 e segundo Silva et al. (2018) a conversão térmica e catalítica do PVC sobre os catalisadores mostram que a conversão ocorre em duas faixas de temperatura: na faixa de 200-400°C a decomposição se deve a perda de HCl, além da desidrohalogenação. Já na faixa de 400-600°C esse comportamento é devido à decomposição da estrutura associada à quebra da cadeia principal do PVC. Ambos os catalisadores demonstraram comportamentos semelhantes.



**Figura 14:** Curvas DTG para pirólise térmica e catalítica do PVC usando os diferentes catalisadores.

Analisando a figura 17, observa-se que quando houve a presença dos catalisadores as temperaturas médias de decomposição do PVC são deslocadas para temperaturas menores, tanto no uso do HZSM-12/MCM-41 quanto do HZSM-35/MCM-41. Além disso, é possível perceber que ambos os catalisadores promoveram uma redução na temperatura de decomposição.

## **5. CONCLUSÕES**

Os difratogramas de raios-X dos materiais micro-mesoporosos HZSM-12/MCM-41 e HZSM-35/MCM-41 mostraram que, mesmo com processos como síntese e a calcinação (MCM-41), a troca iônica e a calcinação (ZSM-12 e ZSM-35) e a mecanossíntese (HZSM-12/MCM-41 e HZSM-35/MCM-41), os catalisadores micro-mesoporosos foram obtidos com grande eficácia e com uma boa ordenação em sua estrutura.

Segundo a IUPAC, as isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio obtida para os compósitos micro-mesoporosos se aproximam do tipo IV, característica de materiais mesoporosos, com pequenos desvios que são atribuídos à influência do catalisador microporoso presente na estrutura. Já a área superficial obtida pelo método BET, assim como o volume de poros encontrado pelo método BJH, estão de acordo com o esperado.

Os testes catalíticos com ensaios de pirólise com o PVC dos compósitos HZSM-12/MCM-41 e HZSM-35/MCM-41 mostraram que a atuação desses catalisadores na reação é de grande importância, já que aperfeiçoaram a variação da temperatura média da pirólise, fazendo com que o catalisador seja promissor em aplicações na indústria química.

## **6. PERSPECTIVAS**

- Apresentação do trabalho na VI SEMAC – 29º EIC/COPES;
- Apresentações em congressos.

## 7. REFERÊNCIAS

BECK, J. S.; VARTULI, J. C.; ROTH, W. J.; LEONOWICZ, M. E.; KRESGE, C. T.; SCHIMITT, K. D.; CHU, C. T. W.; OLSON, D. H.; SHEPPARD, E. W.; MCCULLEN, S. B.; HIGGINS, J. B.; SCHLENKER, J. L.; J A New Family of Mesoporous Molecular Sieves Prepared with Liquid Crystal Templates. American Chemical Society, 1992, 114, 10843.

CARVALHO, E. G. Globalização e estratégias competitivas na indústria automobilística: uma abordagem a partir das principais montadoras instaladas no Brasil. Gestão e Produção, v.12, n.1, p.121-133, 2004.

FONTES, M. S. B; MELO, D. M. A; COSTA, C. C; MELO, M. A. F; ALVES, J. A. B. L. R; SILVA, M. L. P. Efeitos de diferentes fontes de sílica nos parâmetros texturais da peneira molecular MCM-41, cerâmica 62 (85-90), 2016.

GARCIA, L. P.; DA CRUZ, R. T.; BRAGANÇA, S. R.; Use of catalyst waste from hydrocarbon fluid catalytic craking process in alumina-silica refractories. Cerâmica, v.55, 2009.

GONG T.; QIN L.; LU J.; FENG H.; ZnO modified ZSM-5 and Y zeolites fabricated by atomic layer deposition for propane conversion. Phys. Chem. Chem. Phys., 2016,

IUPAC. Manual of Symbols And Terminology Appendix II, Part II, "Heterogeneous Catalysis". Pure and Applied Chemistry, v. 46, p. 71 – 90, 1976.

LACERDA O. S.; CAVALCANTI R. M.; MATOS T. M.; VENÂNCIO J. B; BARROS I. B.; VEIGA-JÚNIOR V. F.; BARROS I. C. L. Síntese Do Material Mesoporoso MCM-41 Usando Esponja De Água-Doce Como Fonte De Sílica. Química Nova, v. 36, n. 9, p. 1348-1353, 2013.

LANSARIN, M. A. Modelagem e simulação de seção de conversão de uma unidade FCC. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1997.

LI, P.; XIONG, G.; LIU, L.; WANG, L. Investigation on the effect of zeolite precursor on the formation process of MCM-41 containing zeolite Y building units. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2013.

MAKOWSKI W.; MAJDA D. Equilibrated thermodesorption studies of adsorption of n-hexane and n-heptane on zeolites Y, ZSM-5 and ZSM-11. *Science direct*, 2005.

MOTA, C. J.A. Química e tecnologia para o desenvolvimento. Aplicações e necessidades da Petrobras à produção de gasolina. *Química Nova*, 1994.

MUJTABA, I. M.; PATEL, R.; JOHN, Y. M. Modelling and simulation of an industrial riser in fluid catalytic cracking process. *Computers & Chemical Engineering*, v. 106, p. 730-743, 2017.

NAZAROVA, G.; IVASHKINA, E.; IVANCHINA, E. Mathematical modelling of catalytic cracking riser reactor. *Chemical Engineering Journal*, v. 329, p. 262-274, 2017.

POPA, C. Application of Plantwide Control Strategy to the Catalytic Cracking Process. *Procedia Engineering*, v. 69, pg 1469-1474, 2014.

SANTANA, J. C.; MACHADO, S. W. M.; SOUZA, M. J. B.; PEDROSA, A. M. G. Desenvolvimento de materiais híbridos micro-mesoporosos do tipo zsm-12/mcm-41. *Quim. Nova*, Vol. 38, No. 3, 321-327, 2015.

SANTOS, S. C. G.; MACHADO, S. W. M.; PEDROSA, A. M. G.; SOUZA, M. J. B. Development of micro-mesoporous composite material of the ZSM-12/MCM-41 type for the CO<sub>2</sub> adsorption. *Journal of Porous Materials*, June 2015.

SCHMAL, M. "Catálise Heterogênea". Rio de Janeiro: Synergia, 2011

SILVA, A. O. S.; SOUZA, M. J. B.; PEDROSA, A. M. G.; CORIANO, A. C. F.; FERNANDES JR, V. J.; ARAUJO, A. S. Development of HZSM-12 zeolite for catalytic degradation of high-density polyethylene. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 244, p. 1-6, 2017.

SILVA, T. H. A; RIBEIRO, T. R. S; OLIVEIRA, H. A. N; SILVA, D. C. M; PEDROSA, A. M. G; SOUZA M. J. B. Pirólise termocatalítica de policloreto de vinila pós-consumo utilizando catalisadores micro/mesoporosos tipo ZSM-35/MCM-41. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2018.

SILVESTRE, A. H. O.; VIEIRA, E. B.; BARRETO, L. S. Importância das zeólitas na indústria do petróleo e no craqueamento em leito fluidizado (FCC). *Bolsista de Valor*, v. 2, n.1, p. 63-75, 2012.

SOHRABNEZHAD, S.; JAFARZADEH, A.; POURAHMAD, A. Synthesis and characterization of MCM-41 ropes. *Materials Letters*, 2017.

SOUZA, C. D. C. S. Visando a redução catalítica de nox com propano. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

WANG, Y.; CUI, D.; LI, Q. Synthesis, characterization and influence parameters on the overgrowth of micro/mesoporous Y-zeolite-MCM-41 composite material under acidic conditions. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2011.

YU, Q.; RICHTER, M.; KONG, F.; LI, L.; WU, G.; GUAN, N. Selective catalytic reduction of NO by hydrogen over Pt/ ZSM-35. *Catalysis Today*, 2010.



## **8. OUTRAS ATIVIDADES**

- Participação na Semana Acadêmica da UFS de 2018;
- Apresentação de trabalho durante a Semana Acadêmica da UFS de 2018;
- V SEMAC – 28º EIC/COPES – Redação Científica;
- V SEMAC – II Feira de Estágios UFS;
- V Escola de Química UFS.